中国生态农业学报 2016 年 4 月 第 24 卷 第 4 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Apr. 2016, 24(4): 443−450

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160003

农业景观异质性对生物多样性及其生态系统服务的影响*

宋 博[1,2] 丁圣彦[1,2**] 赵 爽[2] 李子晗[2] 侯笑云[2]

(1. 教育部黄河中下游数字地理技术重点实验室 开封 475004; 2. 河南大学环境与规划学院 开封 475004)

摘 要 农业景观中生物多样性具有特殊重要的意义，本文首先综述了农业景观异质性的组成和特征。农业景观的异质性不仅包括空间组成和构型异质性以及时间异质性，更应包括基于物种或功能类群认识的农业景观功能异质性，这对于讨论景观异质性与生物多样性的关系十分关键。纵览景观空间异质性和时间异质性对生物多样性的多尺度影响发现，很多研究证实非农生境对于维持农业景观中生物多样性十分必要，由非农生境斑块和农田基质组成异质性较高的农业景观往往促进生物多样性，不同生物类群对景观异质性的响应尺度不同。景观结构和种间作用的复合影响是异质性农业景观维持生物多样性的机制。景观异质性通过生物多样性的组成和分布进而影响其提供的生物控制、授粉和物质循环等生态系统服务。结合黄河中下游平原农业景观异质性特征及其对生物多样性影响系列研究结果，在联产承包责任制下小田块管理的农业景观中，未来相关研究应基于功能景观的时空异质性深入讨论农业景观对生物多样性及其生态系统服务的影响机制，为可持续农业景观的构建提供科学依据。

关键词 农业景观 景观异质性 生物多样性 生态系统服务 黄河中下游
中图分类号: P9; S17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)04-0443-08

Effects of agricultural landscape heterogeneity on biodiversity and ecosystem services*

SONG Bo[1,2], DING Shengyan[1,2**], ZHAO Shuang[2], LI Zihan[2], HOU Xiaoyun[2]

(1. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng 475004, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract It is undoubted that biodiversity and its' ecosystem services have significant importance for agricultural landscape. The semi-natural habitats are the indispensable covers in agro-landscape, which maintain higher biodiversity because they provide refuge, foods, breeding place. To meet the demands of a growing human population, agricultural systems have been enlarged by altering non-crop habitats area to crop land and produced more crops per unit area, the disturbance to ecosystem intensified inducing decreasing of biodiversity. Keeping high biodiversity in agricultural landscape is significant for sustainable development of agriculture. In this paper, composition and characteristics of agricultural landscape heterogeneity were reviewed and its effects on biodiversity and ecological service discussed. Landscape heterogeneity included compositional heterogeneity, configurational heterogeneity, as well as temporal heterogeneity and functional heterogeneity. Most evidences showed that higher heterogeneity of agro-landscape affected positively on biodiversity. The temporal dynamics (historical, short-term and seasonal change of landscape) of landscape context may help improving understanding about the interaction between landscape structure and biodiversity in agro-landscape. Scale effect of landscape heterogeneity on

* 国家自然科学基金项目(41371195, 41071118)资助
** 通讯作者: 丁圣彦, 主要研究方向为景观生态学。E-mail: syding@henu.edu.cn
宋博, 主要研究方向为土壤生态学。E-mail: songbo@henu.edu.cn
收稿日期: 2015−12−31 接受日期: 2016−01−06

* Funded by the National Natural Science Foundation of China (No. 41371195, 41071118)
** Corresponding author, E-mail: syding@henu.edu.cn
Received Dec. 31, 2015; accepted Jan. 6, 2016

biodiversity existed and is a core content of landscape ecology. Multi-scale effects of spatial and temporal landscape heterogeneity on non-agricultural biodiversity were significant. The biodiversity of plants, ground arthropod, and soil fauna were related to landscape heterogeneity in different radius buffer area. The responses of different non-agricultural biological groups were different because the landscape context and biological characteristics. The mechanisms of landscape heterogeneity maintaining biodiversity was also summarized. The combination of plant dispersal modes (e.g. wind, animals, vegetative) or / animals migration modes (e.g. crawling, jumping, flying) and landscape structure (e.g. connectivity of semi-natural habitat, presence of dense non-crop habitats) determined how far plant and animal species could move through the landscape to reach suitable patches. Influences of landscape heterogeneity on bio-control, pollination, and material cycle that provided by natural enemy, flower visitors and soil fauna were overviewed too. More and more studies had shown landscape heterogeneity and agricultural managements were important driving factors of plant, animal, and microorganisms, and furthermore impacted ecosystem services, such as nutrient recycle, water adjustment, pest biocontrol, etc. Based on the results of a series study of effects of agricultural landscape heterogeneity on non-agricultural biodiversity in the middle and lower area of the Yellow River, the development and perspective of landscape heterogeneity and biodiversity were summarized. The further studies should focus on relationships between agro-landscape context and biodiversity and its mechanisms based on spato-temporal heterogeneity of landscape.

Keywords Agricultural landscape; Landscape heterogeneity; Biodiversity; Ecosystem services; The middle and lower reaches of the Yellow River

生物多样性是人类赖以生存的物质基础，对生态系统服务的形成和维持具有重要意义。非农生物多样性(non-agricultural biodiversity)通过天敌、传粉者等的生物控制、作物授粉等生态系统服务直接影响作物的产量，是农业景观(agricultural landscape)可持续发展的基础，对维持区域乃至全球的可持续发展具有重要意义[1]。昆虫授粉者对于全球 15%~30%的粮食生产具有举足轻重且无可替代的作用，每年对世界经济约有 1 530 亿欧元的影响[2]。据估计美国每年由节肢动物提供的害虫控制产生的经济价值约为 45 亿美元[3]。与此同时，很多研究证实，随着全球变化和人类活动干扰的增强，农业景观中生物多样性在急剧减少[4]。因此在农业景观中更好地维持和保护非农生物多样性具有重要的意义。

相当多非农物种(non-agricultural species)的生存离不开农业景观所提供的食物和栖息地[5]。农业景观中的自然、半自然生境(如农田边界、林地、树篱、沟渠等)为非农生物提供了丰富的源，常作为生物的栖息地、繁殖地、食物源、避难所而存在，对于维持生物多样性有极为重要的影响[6]。深入研究农业景观异质性对生物多样性的影响，通过权衡生物多样性的生态系统服务与农业生产，构建可持续的农业景观是当前农业景观管理中亟待解决的科学问题。结合我们团队以黄河中下游平原农业景观作为典型案例开展的系列相关研究成果及他人的研究报道，本文对农业景观异质性对生物多样性及其生态系统服务的影响的研究进展进行总结和分析。

1 农业景观异质性

景观异质性(landscape heterogeneity)是指景观结构空间分布的非均匀性和非随机性。农业景观是由集约化农用地和非农生境组成的景观镶嵌体[7]。这种由不同类型的非农生境(non-agricultural habitats)和不同管理方式的农田组成了多尺度的异质性农业景观，对于农业生态系统中生物多样性的保护具有重要意义。农业景观的异质性包括空间异质性、时间异质性和功能异质性。当前的很多研究在不同尺度上关注了农业景观的空间异质性，但对时间和功能异质性的研究相对较少。

1.1 农业景观的空间异质性

景观的空间异质性包括组成异质性(compositional heterogeneity)和构型异质性(configurational heterogeneity)两个重要组成部分[6,8]。景观组成的异质性即土地利用和土地覆盖的类型差异，更容易为人们发现和认知。以黄河中下游冲积平原为例，区内农业景观中主要是联产承包责任下小田块常规管理的农田，以及农田边界、片状林地、行道树篱、自然沟渠等一些非农生境组成[9]。这种景观异质性是华北平原农田林网系统的一个缩影，该区域的相关研究对以农业景观为主的区域具有很好的代表性。景观的组成异质性具有很强的尺度依赖。例如在田间管理上，由于联产承包责任制下小田块农艺措施、种植方式的不同还会产生更小尺度的景观异质性。

景观的构型异质性是不同景观类型间组合方式的差异，是景观结构的异质性。例如，非农生境面积比例相同的两个农区，由于农田和非农生境的斑块

大小、形状和数量不同形成了景观构型异质性。这种异质性会产生农田边界长短等的差异从而影响生物多样性[10]。

1.2 农业景观的时间异质性

农业景观结构随着时间的变化而变化。近年来在全球变化、城市化、不断增加的人口数量的更多耕地需求以及农田高强度利用等的影响下，农业景观发生破碎化(fragmentation)和简化(simplification)。在黄河中下游地区农业景观的改变主要来自两个方面的压力。一方面，人口增长的粮食需求迫使农业用地的扩张，将农业景观中为数不多的非农用地转换为耕作农田。如片状林地及行道防护林篱的消失；叠加全球变化的影响后，农区自然沟渠、坑塘等水体的消失等。另一方面，城市化快速发展中更多的建设用地需求，林地等非农用地及耕地转变为建设用地；乡村人口向城市转移导致"空心村"劳动力的减少和老龄化，促使规模化农业，种植方式和农业管理单一，同时化肥、农药和机械耕作的高强度投入，导致田间边界和行道树篱等非农生境的萎缩严重，农业景观简化突出[11]。农业景观结构的改变必将影响甚至危及存在于农业生态系统中的生物多样性及其生态功能，景观类型和管理的历史及转变后的动态和历时都对生物多样性产生影响。例如，非农生境转变为农田斑块后会由于历史种子库而表现出丰富的杂草多样性。

1.3 农业景观的功能异质性

同一景观类型或生境为不同物种提供不同的资源，甚至丰富的自然生境可以为生物提供多种资源，如非农生境可以提供多方面的资源，如食物、栖息地等，而农田生境常提供较单一的资源，如食物。不同的景观组成类型可能对于某一物种也会产生相同的功能。例如，间有裸露的植被覆盖地是很多地面营巢鸟类可能的筑巢生境，而间作农田也可提供这种景观[12]，因此两者可作为同一功能景观即筑巢生境处理。类似的，开敞水域和建设用地都是这些鸟类的同等不适地域，可作为一种不适功能景观来对待。因此农业景观还存在功能景观异质性(functional landscape heterogeneity)[6]。研究景观异质性对生物多样性的影响时，宜依据物种的差异精确考虑景观的功能异质性。

目前的相关研究中特别强调景观的组成异质性，例如经常采用某种景观类型在一定区域内的面积比例作为讨论影响生物多样性的重要因子，而对景观的构型异质性关注较少。此外针对不同的研究对象，从景观的功能异质性角度探讨其对生物多样性影响的案例更为罕见。这应是未来研究工作的发展方向。

2 农业景观异质性对生物多样性的影响

节肢动物是农业生态系统中常用的环境指示类群，在农业生态系统中具有生物控制、物质循环和传粉等重要的生态功能。如蝴蝶(Rhopalocera)的时空分布特征可以反映不同的景观格局[13]；步甲(Carabidae)对环境因素如温度、湿度等十分敏感，可以作为环境指示生物[14]。在景观与生物多样性的相关研究中主要针对上述类群开展。

2.1 生物多样性对景观异质性的多尺度响应

尺度问题是景观生态学核心研究内容之一。景观异质性对生物多样性的影响也存在尺度效应。地中海地区森林的破碎化增加了局地微生物的多样性，但对景观尺度的微生物多样性产生消极影响[15]。生物多样性对景观异质性的响应研究从生境、景观一直扩展到区域，甚至跨国界的不同尺度上开展[16–17]。大量案例研究发现土壤动物、大型表生节肢动物、传粉昆虫、两栖动物、哺乳动物、鸟类等对景观异质性的特征响应尺度不同[18–20]。

在景观尺度(landscape scale)上，在 1 500~2 200 m 景观异质性与天敌的多度正相关[21]。黄河下游平原林地和树篱的指示性优势类群为膜翅目(Hymenoptera)，沟渠为蜘蛛目(Araneae)，农田为鞘翅目(Coleoptera)[22]。随尺度的增加农田中表生节肢动物优势类群之间的正相关性增强。林地和农田表生节肢动物对景观的响应尺度为 250 m，树篱和沟渠则为 400 m。这可能一方面受景观斑块和廊道性质的制约，廊道(树篱和沟渠)具有景观连接意义，在较大尺度上对异质性有显著响应，而农田和林地是区内的景观基质和斑块，在较小尺度上响应景观异质性[23]；另一方面不同生境中节肢动物的物种组成及其生活习性不同，因此响应尺度也不同[24–25]。景观异质性越高的样地拥有的表生鞘翅目数量越多，并且景观构型异质性对鞘翅目多样性的影响显著，景观组成及其与构型的交互作用对节肢动物群落的多度具有显著影响(P<0.05)[25]。

在局地尺度(local scale)上，天敌在异质性景观中的多度高于同质景观。在周边生境复杂的农田中天敌多度高于简化的农田[26]；距离田地边界更近的地方多度更高[27]，并且非农生境的特征直接影响天敌群落[28]。因为与无林生境和一年生作物生境相比，林地生境(包括果园)较少受到收获、耕作等农业活动的干扰，因此过简农业景观的周边如果有林地，将

会通过为天敌提供避难所而缓和农业强度对生物多样性的消极影响[29−30]。

在田间尺度(field scale)上，多年生作物生境和一年生作物生境相比，多年生植物所受的干扰相对较弱，并且在越冬季节可以保留避难所，而维持较高的生物多样性。与传统农业相比，在干扰较少的有机农业中蜘蛛目多样性更高[31]。因此，不同的耕作管理也会产生景观异质性，从而影响蜘蛛及其他生物多样性。

2.2 生物多样性对景观变化的响应

景观的历史变化，如土地利用方式的改变，对农业景观中的生物多样性必将产生影响。在黄河中下游平原农业景观中的研究发现，林地表生节肢动物在较大尺度(250 m、350 m 和 500 m)上，对景观动态敏感，包括栖息地(林地生境)的欧氏距离、连接度和辛普森指数的变化[24]。

短期景观变化对昆虫密度有两种影响[32]。某个斑块移除后的短期内在残留斑块中昆虫种群的密度会因为聚集效应而增加[33]。相反，斑块面积增加后的生境中，昆虫种群密度会因为稀释效应而减少[33−34]。

景观的季节动态对非农生物多样性的组成和分布也有一定的影响。冬季植被(如作物覆盖)可以为天敌群落提供存续的机会并提高他们对害虫生物控制的功能[35]。田间管理中如果采用错峰收割或者天敌越冬生境的保护将会有益于非农生物在受限季节通过农田到非农生境的迁移，而促进回暖后农业景观中的非农生物多样性[36]。

大量研究证实，单一强调产量的农业景观生态系统，土地高度集约化利用对生态环境造成负面影响(如农业环境污染)和不可持续的农业管理(秸秆焚烧、过量化肥和杀虫剂施用等)对生态系统过程和功能的破坏，是导致农业生态系统中生物多样性丧失的重要原因[37]。复杂的景观中非农生境拥有丰富的植物多样性和较低的人为干扰，通过其提供栖息地、资源、庇护所和迁移廊道等从而维持更多的生物物种[38−39]，在维持生物多样性方面发挥着重要作用[25,40]。如农业景观中的自然栖息地、蜜粉源植物等是联系景观与传粉昆虫的媒介。传粉昆虫迁移速度快、范围广，对景观中不同镶嵌斑块(半自然生境与农田等)时间空间分布很敏感[41]。因此，对农业景观中农田、非农斑块的规划和调整，甚至是非农生境的构建和恢复，是保护农业生态系统中生物多样性的有效途径和措施[42−43]。

3 农业景观异质性维持生物多样性的机制

生物扩散模式(如风媒、动物媒等植物的种子传播媒介差异，爬行、跳跃、飞行等动物扩散方式差异)和景观结构(半自然生境的连接度，树篱、林地密度或景观开放性)的复合作用决定了生物物种穿越景观到适宜性斑块的迁移距离。

3.1 基于景观结构的关联和隔离机制

农业景观中，非农生境因其不间断的乔木、灌木和草本植被和凋落物覆盖，能够对非生物因子例如养分、水分和光照等产生影响，形成不同的生物小气候环境，为生物提供栖息场所、食物来源、越冬场所及物种源等[44]。不同的非农生境类型进入景观缓冲区，与相应生境伴生的物种增加会引起生物多样性增加[32]。由于一些物种只能在一些特定的生境中生存，所以具有多种生境类型的景观将容纳更多的物种[6]。因此，在农业景观中保持较高的异质性对保持生物多样性具有重大的意义[40,45]。景观异质性引起生物多样性的这种增加不一定是线性的。如某一生物生命史的不同阶段需要或偏爱不同生境的景观补充，或者在某一时期某些生境可为该生物提供补充的巢穴地和食物源的景观补偿[46]。例如，因为两栖动物在蝌蚪期和成蛙期对水域和陆生环境不同需求，只有在包含这两种生境斑块的景观中能更多的存在[47]。同时，非农生境中构型异质性的增加也会增加景观的补偿作用[48]。生境斑块形状的复杂性增加了景观镶嵌和毗邻，加强了可能资源地和补偿资源地之间的连接。如线性乔木景观(如树篱)可以提供非农生物生存生境，并加强景观连接度，从而弱化高强度农业带来的消极影响[49−50]。

集约化农业中非农生境的丧失导致景观中适宜生境面积减少和生境隔离。高强度的土地利用可能阻碍来自周围的物种，因此不能发现景观特征和田间杂草植被间的关联性[27]。黄河中下游平原林地非农生境中未表现出更高的中小型土壤动物多度和丰富度，可能与人工林地的干扰程度、农田中土壤动物的食物丰富有关。但林地中表生蚁科(Formaicidae)、鞘翅目、蜘蛛目的物种丰富度和多样性基本上高于农田，特别是在冬季对区内节肢动物具有避难所的重要意义[51]。

3.2 基于生物扩散和种间作用的机制

从植物不同的种子传播方式到动物不同的移动方式，从表生节肢动物的爬行、跳跃到授粉昆虫的飞行乃至鸟类的迁徙，不同生物种类的扩散方式和迁移能力的差异，导致其对景观异质性的特征响应

尺度不同。一般来说迁移能力较大的群落在较大尺度的异质性景观中具有较高的多样性，而迁移能力低的物种受小尺度的生境差异甚至是田间管理异质性的影响更为显著。

景观异质性也会通过影响种间关系而增加生物多样性。随着同种生境斑块之间扩散率的减少，即斑块之间的穿越几率减少，竞争者的共存几率增加[52]。景观组成异质性增加将会减少同种生境斑块之间的生物扩散，而生物扩散率的降低意味着更多集合群落的存在。生物多样性也会因为竞争减少而增加。

4　农业景观异质性对生态系统服务的影响

越来越多的证据说明，景观组成是昆虫种群的重要驱动因子进而影响生物控制等生态系统服务。景观复杂性和农业管理影响植物、动物和微生物多样性，并影响由它们所提供的生态系统服务，如养分循环、水分调节和有益昆虫提供的害虫抑制等[53]。

4.1　生物控制

景观异质性的增加常伴随着天敌多度或多样性的增加[54−55]，这意味着害虫控制能力的加强[56]。很多农业生态系统中的研究发现，景观异质性与寄生和捕食之间呈正相关[57]。

然而天敌的多度和丰富度不能作为害虫控制服务的直接指示。例如，因天敌之间的相互取食(intraguild predation)导致天敌多样性高却害虫控制率较低的现象[58]；或者因叠加了生态系统中其他物种的促进作用[59]，从而可能产生较高的害虫控制率。甚至如果仅由特化种(specialist)提供的控制作用则仅与其多度有关，而与天敌多样性之间的关联不大[60]。无论生物多样性和生态系统服务之间的关系如何，影响天敌分布的因子将会影响它们对作物提供的生态系统服务。因此，基于物种讨论景观多样性对生物多样性的影响，可以为农业生态系统服务的景观调控研究提供有价值的结论。有时异质性景观还可通过影响天敌和害虫种群的时间动态而影响生物控制。与简单景观相比，复杂景观的作物系统中天敌在蚜虫种群峰值前出现，从而有效控制虫害[61]。

生物控制还包括杂草的控制。非农植食者通过对杂草种子的取食(seed predation)对杂草产生抑制作用也是非农生物多样性的重要生态系统服务之一[62]。有机管理麦田中的种子取食高于传统管理，这意味着为保护有花植物多样性的欧洲农业环境规划也提供了有益田间杂草控制机制[63]。

4.2　传粉服务

景观简化严重威胁着飞行传粉昆虫所提供的传粉服务[64]。农业景观中农田扩张和非农生境的破碎化和消失，使得传粉动物所依赖的资源匮乏[65−66]。特别是个体大、功能有效性高的传粉昆虫更容易受到生境丧失的影响，从而加速传粉服务的丧失。同时，在集约化的农业景观中，随距离种源地的距离增加，蜜蜂(Apidae)的多度，特别是野生蜂的种类和数量急剧萎缩、植物的坐果率逐渐下降[67−68]。

4.3　物质循环

森林破碎化通过植物–土壤系统间复杂的因果级联效应影响土壤生物群落结构和功能，最终影响森林土壤的养分循环和功能[15]。在有机管理的农田或异质性景观中，土壤动物多样性因为景观补充和补偿效应的增加将会带来更快的物质分解速率。景观异质性对物质循环及其他生态系统服务影响的相关案例研究十分缺乏。但 Diekötter 等[63]在冬小麦(*Triticum aestivum*)农田中的短期研究没有发现凋落物分解和土壤动物取食活性在不同的景观结构和农田管理下具有显著的差异，其内在的机制尚待进一步探讨。

在不降低农业景观中农业生产的同时改善生态效益，景观异质性是调节农业产出和生态功能之间矛盾的一个重要途径，深入研究景观异质性对生物多样性及其所提供的生态系统服务的机制，未来可以通过景观规划和农艺管理实现生态效益和农业经济效益之间权衡。

5　未来研究展望

农业景观中生物多样性及其提供的生态系统服务对于农业生态系统的可持续发展具有重要的意义毋庸置疑。多数研究证实农业景观的组成异质性促进了生物多样性。但不同农业景观的构型异质性对非农生物多样性的影响有待深入开展讨论。基于不同生物功能类群或物种单元的功能异质性景观，以及与生物多样性的关系，合理规划农业覆盖和利用类型的配置尤为重要。农业景观异质性对非农生物多样性的影响机制，农业景观的生态系统服务的形成和维持机制研究都将是未来相关研究领域中亟待深入探讨的科学问题。这些研究将为多尺度可持续农业景观的构建提供理论支持，以实现农业景观系统的可持续发展。

参考文献 References

[1] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究[J]. 生态学报, 1995, 15(4): 345–350
Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(4): 345–350

[2] Gallai N, Salles J M, Settele J, et al. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline[J]. Ecological Economics, 2009, 68(3): 810–821

[3] Losey J E, Vaughan M. The economic value of ecological services provided by insects[J]. BioScience, 2006, 56(4): 311–323

[4] Butchart S H M, Walpole M, Collen B, et al. Global biodiversity: Indicators of recent declines[J]. Science, 2010, 328(5982): 1164–1168

[5] Midgley G F. Biodiversity and ecosystem function[J]. Science, 2012, 335(6065): 174–175

[6] Fahrig L, Baudry J, Brotons L, et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes[J]. Ecology Letters, 2011, 14(2): 101–112

[7] Bennett A F, Radford J Q, Haslem A. Properties of land mosaics: Implications for nature conservation in agricultural environments[J]. Biological Conservation, 2006, 133(2): 250–264

[8] Wiens J A, Moss M R. Issues and Perspectives in Landscape Ecology[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005: 95–118

[9] 冯舒, 汤茜, 丁圣彦. 农业景观农地和非农绿地斑块属性特征及其结构优化研究——以河南省封丘县为例[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 733–740
Feng S, Tang Q, Ding S Y. Structural attribute and optimization of farmland and non-cropped green-land patches of agricultural landscape: A case study of Fengqiu County, Henan Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 733–740

[10] Fahrig L. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis[J]. Journal of Biogeography, 2013, 40(9): 1649–1663

[11] Meehan T D, Werling B P, Landis D A, et al. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(28): 11500–11505

[12] Gilroy J J, Anderson G Q A, Grice P V, et al. Mid-season shifts in the habitat associations of Yellow Wagtails *Motacilla flava* breeding in arable farmland[J]. Ibis, 2010, 152(1): 90–104

[13] Rossi J P, van Halder I. Towards indicators of butterfly biodiversity based on a multiscale landscape description[J]. Ecological Indicators, 2010, 10(2): 452–458

[14] Niemelä J. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and habitat fragmentation: A review[J]. European Journal of Entomology, 2001, 98(2): 127–132

[15] Flores-Rentería D, Rincón A, Valladares F, et al. Agricultural matrix affects differently the alpha and beta structural and functional diversity of soil microbial communities in a fragmented Mediterranean holm oak forest[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2016, 92: 79–90

[16] Ekroos J, Kuussaari M, Tiainen J, et al. Correlations in species richness between taxa depend on habitat, scale and landscape context[J]. Ecological Indicators, 2013, 34: 528–535

[17] Bilieter R, Liira J, Bailey D, et al. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: A pan-European study[J]. Journal of Applied Ecology, 2008, 45(1): 141–150

[18] Guerra C, Aráoz E. Amphibian diversity increases in an heterogeneous agricultural landscape[J]. Acta Oecologica, 2015, 69: 78–86

[19] Ethier K, Fahrig L. Positive effects of forest fragmentation, independent of forest amount, on bat abundance in eastern Ontario, Canada[J]. Landscape Ecology, 2011, 26(6): 865–876

[20] Kennedy C M, Lonsdorf E, Neel M C, et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems[J]. Ecology Letters, 2013, 16(5): 584–599

[21] Chaplin-Kramer R, O'Rourke M E, Blitzer E J, et al. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity[J]. Ecology Letters, 2011, 14(9): 922–932

[22] 赵爽, 宋博, 侯笑云, 等. 黄河下游农业景观中不同生境类型地表节肢动物优势类群[J]. 生态学报, 2015, 35(13): 4398–4407
Zhao S, Song B, Hou X Y, et al. Research of the dominant group of ground arthropods in the agro-landscape along the lower reaches of the Yellow River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4398–4407

[23] 王玉婷, 丁圣彦, 梁国付. 农田背景下景观结构对半自然生境生物多样性的多尺度影响[J]. 地理科学进展, 2014, 33(12): 1704–1716
Wang Y T, Ding S Y, Liang G F. Multi-scale effects analysis for landscape structure and biodiversity of semi-natural habitats and cropland in a typical agricultural landscape[J]. Progress in Geography, 2014, 33(12): 1704–1716

[24] 侯笑云, 宋博, 赵爽, 等. 农业景观动态对林地地表节肢动物多样性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7659–7668
Hou X Y, Song B, Zhao S, et al. Effects of agricultural landscape dynamics on the species diversity of ground arthropods in woodlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23): 7659–7668

[25] 侯笑云, 宋博, 赵爽, 等. 黄河下游封丘县不同尺度农业景观异质性对鞘翅目昆虫多样性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(1): 77–81
Hou X Y, Song B, Zhao S, et al. Effect of Agro-landscape heterogeneity as affected by scale on diversity of Coleoptera in Fengqiu County in the lower reaches of the Yellow River[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(1): 77–81

[26] Letourneau D K, Armbrecht I, Rivera B S, et al. Does plant

diversity benefit agroecosystems? A synthetic review[J]. Ecological Applications, 2011, 21(1): 9–21

[27] Clough Y, Holzschuh A, Gabriel D, et al. Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44(4): 804–812

[28] Sarthou J P, Badoz A, Vaissière B, et al. Local more than landscape parameters structure natural enemy communities during their overwintering in semi-natural habitats[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 194: 17–28

[29] Gemmill-Herren B, Ochieng A O. Role of native bees and natural habitats in eggplant (*Solanum melongena*) pollination in Kenya[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2008, 127(1/2): 31–36

[30] Zheng G, Li S Q, Yang X D. Spider diversity in canopies of Xishuangbanna rainforest (China) indicates an alarming juggernaut effect of rubber plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2015, 338: 200–207

[31] Bruggisser O T, Schmidt-Entling M H, Bacher S. Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels[J]. Biological Conservation, 2010, 143(6): 1521–1528

[32] Tscharntke T, Tylianaskis J M, Rand T A, et al. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes — Eight hypotheses[J]. Biological Reviews, 2012, 87(3): 661–685

[33] Grez A, Zaviezo T, Tischendorf L, et al. A transient, positive effect of habitat fragmentation on insect population densities[J]. Oecologia, 2004, 141(3): 444–451

[34] Zhao Z H, Hui C, Ouyang F, et al. Effects of inter-annual landscape change on interactions between cereal aphids and their natural enemies[J]. Basic and Applied Ecology, 2013, 14(6): 472–479

[35] Lundgren J G, Fergen J K. The effects of a winter cover crop on *Diabrotica virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) populations and beneficial arthropod communities in no-till maize[J]. Environmental Entomology, 2010, 39(6): 1816–1828

[36] 廖艳阳, 方俊, 王智. 越冬保护及多熟制早稻的合理配置对稻田蜘蛛群落重建的作用[J]. 蛛形学报, 2010, 19(1): 61–64
Liao Y Y, Fang J, Wang Z. Effects of overwintering protection of spiders and rational distribution of early-and late-ripe season rice on spider community establishment in rice field[J]. Acta Arachnologica Sinica, 2010, 19(1): 61–64

[37] Carrete M, Tella J L, Blanco G, et al. Effects of habitat degradation on the abundance, richness and diversity of raptors across Neotropical biomes[J]. Biological Conservation, 2009, 142(10): 2002–2011

[38] Lazzerini G, Camera A, Benedettelli S, et al. The role of field margins in agro-biodiversity management at the farm level[J]. Italian Journal of Agronomy, 2007, 2(2): 127–134

[39] Schneider S, Widmer F, Jacot K, et al. Spatial distribution of *Metarhizium* clade 1 in agricultural landscapes with arable land and different semi-natural habitats[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 52: 20–28

[40] Benton T G, Vickery J A, Wilson J D. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key?[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(4): 182–188

[41] Tscharntke T, Klein A M, Kruess A, et al. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management[J]. Ecology Letters, 2005, 8(8): 857–874

[42] 刘云慧, 李良涛, 宇振荣. 农业生物多样性保护的景观规划途径[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2538–2543
Liu Y H, Li L T, Yu Z R. Landscape planning approaches for biodiversity conservation in agriculture[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(11): 2538–2543

[43] Pryke J S, Samways M J. Recovery of invertebrate diversity in a rehabilitated city landscape mosaic in the heart of a biodiversity hotspot[J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 93(1): 54–62

[44] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations[J]. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 125–138

[45] Persson A S, Olsson O, Rundlöf M, et al. Land use intensity and landscape complexity-analysis of landscape characteristics in an agricultural region in Southern Sweden[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 136(1/2): 169–176

[46] Dunning J B, Danielson B J, Pulliam H R. Ecological processes that affect populations in complex landscapes[J]. Oikos, 1992, 65(1): 169–175

[47] Pope S E, Fahrig L, Merriam H G. Landscape complementation and metapopulation effects on leopard frog populations[J]. Ecology, 2000, 81(9): 2498–2508

[48] Brotons L, Herrando S, Martin J L. Bird assemblages in forest fragments within Mediterranean mosaics created by wild fires[J]. Landscape Ecology, 2005, 19(6): 663–675

[49] Torma A, Császár P. Species richness and composition patterns across trophic levels of true bugs (Heteroptera) in the agricultural landscape of the lower reach of the Tisza River Basin[J]. Journal Insect Conservation, 2013, 17(1): 35–51

[50] 吴玉红, 程序. 四川紫色土丘陵区不同植物篱类型蜘蛛群落结构[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(6): 661–668
Wu Y H, Cheng X. Spider community structures in different types of hedgerows in the purple soil hilly areas of Sichuan basin[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2012, 28(6): 661–668

[51] 刘晓博. 黄河下游典型农区景观结构及生境特征对表生蜘蛛群落的影响[D]. 开封: 河南大学, 2014: 15–25
Liu X B. Effects of agricultural landscape structure and habitat characteristics on ground spiders community in typical region of the lower reaches of the Yellow River[D]. Kaifeng: Henan University, 2014: 15–25

[52] Amarasekare P. Spatial dynamics of foodwebs[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2008, 39(1): 479–500

[53] Garbach K, Milder J C, Montenegro M, et al. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems[J]. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, 2014, 2: 21–40

[54] Drapela T D, Moser D, Zaller J G, et al. Spider assemblages in winter oilseed rape affected by landscape and site factors[J].

Ecography, 2008, 31(2): 254–262
[55] Gardiner M M, Landis D A, Gratton C, et al. Landscape composition influences patterns of native and exotic lady beetle abundance[J]. Diversity and Distributions, 2009, 15(4): 554–564
[56] Mitchell M G E, Bennett E M, Gonzalez A. Agricultural landscape structure affects arthropod diversity and arthropod-derived ecosystem services[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 192: 144–151
[57] Bianchi F J J A, Goedhart P W, Baveco J M. Enhanced pest control in cabbage crops near forest in the Netherlands[J]. Landscape Ecology, 2008, 23(5): 595–602
[58] Rosenheim J A, Kaya H K, Ehler L E, et al. Intraguild predation among biological-control agents: Theory and evidence[J]. Biological Control, 1995, 5(3): 303–335
[59] Greenleaf S S, Kremen C. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(37): 13890–13895
[60] Straub C S, Snyder W E. Species identity dominates the relationship between predator biodiversity and herbivore suppression[J]. Ecology, 2006, 87(2): 277–282
[61] Raymond L, Ortiz-Martínez S A, Lavandero B. Temporal variability of aphid biological control in contrasting landscape contexts[J]. Biological Control, 2015, 90: 148–156
[62] Honek A, Martinkova Z, Jarosik V. Ground beetles (Carabidae) as seed predators[J]. European Journal of Entomology, 2003, 100(4): 531–544
[63] Diekötter T, Wamser S, Wolters V, et al. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 137(1/2): 108–112
[64] Connelly H, Poveda K, Loeb G. Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 211: 51–56
[65] Winfree R, Aguilar R, Vázquez D P, et al. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance[J]. Ecology, 2009, 90(8): 2068–2076
[66] Magrach A, Santamaría L, Larrinaga A R. Differential effects of anthropogenic edges and gaps on the reproduction of a forest-dwelling plant: The role of plant reproductive effort and nectar robbing by bumblebees[J]. Austral Ecology, 2012, 37(5): 600–609
[67] 戴漂漂, 张旭珠, 刘云慧. 传粉动物多样性的保护与农业景观传粉服务的提升[J]. 生物多样性, 2015, 23(3): 408–418
Dai P P, Zhang X Z, Liu Y H. Conserving pollinator diversity and improving pollination services in agricultural landscapes[J]. Biodiversity Science, 2015, 23(3): 408–418
[68] Martins K T, Gonzalez A, Lechowicz M J. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 200: 12–20